



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Støj fra testcenter for vindmøller ved Østerild

Møller, Henrik; Pedersen, Steffen; Staunstrup, Jan K.

Publication date:
2010

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Møller, H., Pedersen, S., & Staunstrup, J. K. (2010). *Støj fra testcenter for vindmøller ved Østerild*. Aalborg Universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Møller, Steffen Pedersen og
Jan Kloster Staunstrup

Støj fra testcenter for vindmøller ved Østerild

Støj fra testcenter for vindmøller ved Østerild

Af Henrik Møller, Steffen Pedersen og Jan Kloster Staunstrup

Sektion for Akustik
Sektion for Geoinformatik og Arealforvaltning
Aalborg Universitet 2010

Støj fra testcenter for vindmøller ved Østerild

ISBN 978-87-92328-38-0

© Copyright 2010 Henrik Møller, Steffen Pedersen og Jan Kloster Staunstrup

Udgivet af:

Sektion for Akustik

Institut for Elektroniske Systemer

Aalborg Universitet

Fredrik Bajers Vej 7, B5

DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Telefon (+45) 9940 8710, telefax (+45) 9940 7510

E-mail acoustics@acoustics.aau.dk

INDHOLD

	FORORD	5
	RESUMÉ.....	7
1	INDLEDNING	9
2	METODER.....	11
2.1	Estimering af møllernes kildestyrke	11
2.2	Estimering af møllernes kildespektrum	11
2.3	Beregning af lydtryk i omgivelserne	13
2.4	Støjkonturer og placering af boliger	14
3	RESULTATER	15
3.1	Støjkonturer.....	15
3.2	Antal boliger og beboere indenfor konturerne.....	18
3.3	Støjens spektrum i omgivelserne	18
4	DISKUSSIONER.....	21
4.1	Overholdelse af støjgrænserne	21
4.2	Støjen ved naboerne.....	25
4.3	Usikkerhed.....	25
5	KONKLUSIONER	27
	Referencer.....	29

FORORD

I den VVM-redegørelse, som lå til grund for vedtagelsen af placering af et nationalt testcenter for vindmøller ved Østerild, var støjberegningerne baseret på syv møller på hver 12 MW. Imidlertid har det siden vist sig, at møllerne bliver på op til 20 MW hver, og da større møller støjer mere, er det nødvendigt med reviderede beregninger af støjen.

Et andet forhold, som gør reviderede beregninger aktuelle, er, at beregningerne i VVM-redegørelsen forudsætter, at støjspektret fra 12 MW møllerne ikke afviger fra spektret fra møller på nogle få megawatt. Det har imidlertid vist sig, at spektret rykker nedad i frekvens med stigende møllestørrelse, hvorfor det må forventes at ligge lavere for møller på 12 MW end forudsat i VVM-redegørelsen og endnu lavere for møller på 20 MW.

Vi har desuden konstateret, at VVM-redegørelsen har overset adskillige boliger, hvor støjkravene ikke kan overholdes, selv efter VVM-redegørelsens beregninger.

Med baggrund i disse forhold er der lavet reviderede beregninger af støjen fra testcenteret. Disse præsenteres i rapporten, og konsekvenserne diskuteres.

Rapporten er blevet til i et samarbejde mellem Sektion for Akustik og Sektion for Geoinformatik og Arealforvaltning, som har været ansvarlige for henholdsvis støjberegningerne og sammenkædningen med topografi og boliger.

Der er ikke modtaget økonomisk støtte til arbejdet.

Aalborg, 29. oktober 2010

Henrik Møller¹, Steffen Pedersen¹ og Jan Kloster Staunstrup²

¹ Sektion for Akustik, Institut for Elektroniske Systemer, Aalborg Universitet

² Sektion for Geoinformatik og Arealforvaltning, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet

RESUMÉ

Rapporten indeholder nye beregninger af støjen fra det kommende testcenter for vindmøller i Østerild. Beregningerne er lavet i anledning af, at det er kommet frem, at der planlægges med møller på op til 20 MW og ikke kun 12 MW som forudsat i VVM-redegørelsen.

I rapporten estimeres de fremtidige møllers kildestyrke og spektrum, lydtrykket i omgivelserne beregnes og omsættes til støjkonturer, hvorefter antallet af boliger og beboere indenfor konturerne bestemmes. Desuden bestemmes støjens frekvensspektrum på udvalgte steder i omgivelserne.

Støjgrænsen på 44 dB for det åbne land vil blive overskredet for fem boliger, forudsat en møllestørrelse på 12 MW som i VVM-redegørelsen. Det er planen, at disse boliger eksproprieres. Med en møllestørrelse på 20 MW, som der nu planlægges for, vil grænsen for det åbne land blive overskredet ved yderligere tre boliger, som ikke er planlagt eksproprieret.

Støjniveauet vil ligge over grænsen på 39 dB for boligområder og anden støjfølsom anvendelse i et område på 33-44 kvadratkilometer afhængigt af møllestørrelsen. Inden for dette område er tre områder udlagt til støjfølsom anvendelse. Med 12 MW møller bliver grænsen overskredet for omkring halvdelen af boligerne i Frøstruplejren, plus 2 boliger i Hjørdemål By. Dette er ikke nævnt i VVM-redegørelsen, og der er ikke planlagt ekspropriationer. Der bor i alt 80 personer i Frøstruplejren. Med 20 MW møller overskrides grænsen for alle boliger i Frøstruplejren, 12 boliger i Hjørdemål By plus hele hotel- og campingområdet i Hjørdemål Klit..

Bekendtgørelsen om støj fra vindmøller kan således ikke opfyldes uden yderligere ekspropriationer, selv ikke med den oprindelige møllestørrelse på 12 MW.

I afstande, hvor støjgrænserne er overholdt, vil støjens højfrekvente indhold være dæmpet af luftens absorption. Den kendte swish-swish lyd, som forbindes med vingernes rotation, er væk, og lyden vil i højere grad blive opfattet som en lavfrekvent rumlen. Det må forventes, at møllerne kan høres adskillige kilometer væk.

1 INDLEDNING

Testcenteret er planlagt til at omfatte syv møller på op til 250 meters højde. Desuden ligger der i området allerede tolv 900 kW møller fordelt i grupper på otte og fire henholdsvis vest og øst for testmøllerne.

Forskellige forhold gør en ny vurdering af støjens betydning for naboerne nødvendig, herunder:

- Støjregningerne i VVM-redegørelsen [1] er baseret på syv møller på hver 12 MW. Senere er det offentliggjort [2], at møllerne hver vil blive på op til 20 MW.
- VVM-redegørelsen har antaget, at støjspektret fra de kommende møller vil være det samme som fra eksisterende store møller. Møller og Pedersen [3] har imidlertid vist, at støjspektret rykker nedad i frekvens med stigende møllestørrelse.
- VVM-redegørelsen har overset adskillige boliger, hvor støjkravene ikke kan overholdes, selv efter VVM-redegørelsens beregninger.

De danske regler om støj fra vindmøller findes i en særlig bekendtgørelse herom [4]. Ved en vindhastighed på 8 m/s er grænserne 44 dB ved nabobeboelse i det åbne land og 39 dB for udendørs opholdsarealer i områder til støjfølsom anvendelse. Støjfølsom anvendelse gælder for områder, der anvendes til, eller er udlagt til, bolig-, institutions-, sommerhus-, eller kolonihaveformål eller som rekreative områder. For en vindhastighed på 6 m/s er grænserne henholdsvis 42 og 37 dB.

Støjen måles ikke direkte på det aktuelle sted men beregnes ud fra målinger tæt på møllen/møllerne.

Der findes også en bestemmelse om, at vindmøller skal ligge mindst fire gange møllens totalhøjde fra nabobeboelser [5]. Bestemmelsen skyldes hensyn til visuelle gener som glimt og skyggekast og ikke hensynet til støj. I praksis vil støjen naturligvis være dæmpet i denne afstand, somme tider til under 44/42 dB. Reglen kan således i visse tilfælde udgøre en bedre beskyttelse mod støj end de specifikke regler om støj.

I rapporten estimeres de fremtidige møllers kildestyrke og spektrum, lydtrykket i omgivelserne beregnes og omsættes til støjkonturer, hvorefter antallet af boliger og beboere indenfor konturerne bestemmes. Resultaterne diskuteres, og områder, hvor reglerne om støj ikke kan overholdes, identificeres.

Beregningerne gennemføres for testmøller på henholdsvis 12 og 20 MW. Selvom støjkravene skal opfyldes for vindhastigheder på både 6 og 8 m/s, gennemføres beregningerne kun for 8 m/s. Grænserne er ganske vist 2 dB lavere ved 6 m/s, men da møller typisk udsender omkring 2 dB mindre støj ved denne vindhastighed, bliver der som regel kun lille eller ingen forskel på konturerne.

2 METODER

2.1 Estimering af møllernes kildestyrke

På basis af målinger på 48 vindmøller mellem 450 kW og 3.6 MW udført af Delta [6] har Møller og Pedersen [3] fundet følgende regression af sammenhængen mellem nominel elektrisk effekt og kildestyrke for støjen, det samlede A-vægtede apparente lydeffektniveau, L_{WA} :

$$L_{WA} = 11,0 \text{ dB} \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{elektrisk effekt}}{1 \text{ MW}} \right) + 101,1 \text{ dB} \quad (1)$$

Formlen er for en vindhastighed på 8 m/s.

L_{WA} for møller på 12 og 20 MW er fundet ved indsættelse i ligning (1), hvilket giver henholdsvis 113,0 og 115,4 dB. Det bemærkes, at det for 12 MW møller er præcist samme værdi som benyttet i VVM-redegørelsen [1].

For den nordligste mølle er der i VVM-redegørelsen regnet med en kildestyrke på kun 104,5 dB, uanset at møllen er angivet med samme elektriske effekt som de øvrige møller. Der findes ingen forklaring på, hvordan man vil sikre sig, at en mølle støjer hele 8,5 dB mindre end estimeret. Forholdet kan måske forklares ved, at der ligger en bolig, som ikke forventes nedlagt, kun 840 meter fra denne mølle, hvorfor møllen kun må være 210 meter høj. På trods af effektangivelsen i VVM-redegørelsen må denne mølle altså blive mindre end de øvrige møller, som må være op til 250 meter høje. Selvom forholdet ikke er tilstrækkeligt belyst, er der i denne rapport regnet med 8,5 dB lavere støj fra den nordligste mølle, altså henholdsvis 104,5 dB og 106,9 dB, når møllerne generelt er på 12 og 20 MW.

For de tolv eksisterende 900 kW møller anvendes VVM-redegørelsens data for kildestyrke.

2.2 Estimering af møllernes kildespektrum

På baggrund af de allerede nævnte målinger på 48 møller viste Møller og Pedersen [3], at store møller udsender relativt mere lavfrekvent støj end små møller. Forskellen kan udtrykkes som en forskydning nedad i frekvens af det relative frekvensspektrum på ca. 1/3 oktav for en øgning af den elektriske effekt med en faktor fire. At spektret rykker nedad i frekvens med stigende elektrisk effekt, viste Møller og Pedersen også for en hollandsk samling af målinger på 28 vindmøller på op til 3 MW givet af van den Berg et al. [7], hvorfor resultatet må anses for at være meget sikkert.

Møller og Pedersen beregnede en sjette-ordens-polynomie regression for middelværdien af de relative spektre i 1/3-oktaver for møller i området omkring 2,6 MW, som de flyttede i frekvens for at estimere relative spektre for 5 og 10 MW møller. Det således beregnede relative spektrum for 10 MW møller anvendes i denne rapport for 12 MW møller, medens det relative spektrum for 5 MW møller forskudt 1/3 oktav nedad anvendes for 20 MW møller. 1/3-oktavværdierne for

kildestyrken er derefter omregnet til 1/1-oktaver med henblik på beregning af lydtryk i omgivelserne i henhold til de officielle danske regler [4].

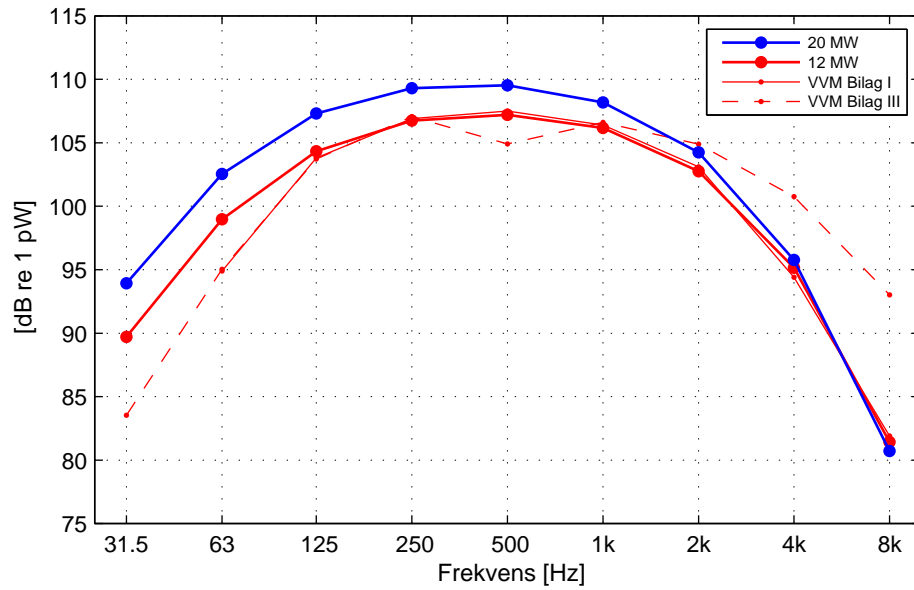
De anvendte kildespektre er vist i Tabel 1.

Tabel 1. A-vægtede kildespektre for projektmøller givet i oktavbånd.

Frekvens [Hz]	A-vægtet kildespektrum [dB re 1 pW]	
	12 MW møller	20 MW møller
31,5	89,7	93,9
63	99,0	102,5
125	104,3	107,3
250	106,8	109,3
500	107,2	109,5
1000	106,2	108,2
2000	102,8	104,2
4000	95,2	95,8
8000	81,4	80,7

VVM-redegørelsen angiver at anvende en frekvensfordeling for ”en typisk moderne megawattmølle”, uden at der dog findes nogen referencer, hverken for at det skulle være rigtigt, eller for spektrets værdier. Beklageligvis er der desuden vist to meget forskellige spektre i VVM-redegørelsens bilag I og bilag III, som begge behandler støjen.

Kildespektrene er vist grafisk i Figur 1, som desuden til orientering viser de to kildespektre, som er benyttet i VVM-redegørelsen.



Figur 1. A-vægtede kildespektrre for projektmøller på 12 MW (blå) og 20 MW (rød). Kildespektrre benyttet i VVM-redegørelsens Bilag I og Bilag III er vist med tynd rød linje, henholdsvis fuldt optrukket og stiptet.

Det ses i Figur 1, at spektret ligger højere for 20 MW møllerne (blå linje) end for 12 MW møller (tyk rød linje), mest udtalt ved lave frekvenser.

Spektret fra VVM-redegørelsens bilag I (tynd rød fuldt optrukken linje) ligger tæt på spektret fra denne rapport (tyk rød linje) fra 125 Hz og op, medens spektret fra VVM-redegørelsens bilag III (tynd rød stiptet linje) afviger noget. Ved lavere frekvenser ligger begge spektre fra VVM-redegørelsen lavere end spektret fra denne rapport.

For de tolv eksisterende 900 kW møller anvendes VVM-redegørelsens data for kildespektrum.

2.3 Beregning af lydtryk i omgivelserne

Det A-vægtede lydtryk fra en given mølle i , i et givet observationspunkt j , og for et givet oktavbånd k , $L_{p,i,j,k}$ er givet således:

$$L_{p,i,j,k} = L_{WA,i,k} - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10} \left(\frac{r_{i,j}}{1 \text{ m}} \right) - 11 \text{ dB} - \alpha_k \cdot r_{i,j} + 1,5 \text{ dB} \quad (2)$$

$L_{WA,i,k}$ er den A-vægtede kildestyrke for den pågældende mølle i det pågældende oktavbånd, $r_{i,j}$ er afstanden fra møllen til observationspunktet, og α_k er luftabsorptionskoefficienten for oktavbåndet.

Det samlede A-vægtede lydtryk i observationspunktet j , $L_{p,j}$ findes ved summering over oktavbånd og møller:

$$L_{p,j} = 10 \text{ dB} \cdot \log_{10} \sum_i \sum_k 10^{[L_{p,i,j,k}/(10 \text{ dB})]} \quad (3)$$

Metoden svarer til den metode, som er anvist i bekendtgørelsen om vindmøller [4], og bekendtgørelsens værdier for a_k er benyttet.

Frekvensspektret i et givet observationspunkt er fundet ved at undlade summationen over k og i stedet beregne værdierne for de enkelte oktavbånd.

Alle beregninger af lydtryk og frekvensspektre er udført i MATLAB [8].

2.4 Støjkonturer og placering af boliger

For et kvadratisk område på 10 gange 10 kilometer omkring testmøllerne er lydtrykket beregnet i et gitter af punkter med en afstand på 50 meter. Data i tekstformat er konverteret til dbf-filer i Access [9] og overført til ArcGIS [10], hvor koordinaterne er transformeret fra UTM zone 32/ED50, som er benyttet for møllernes positioner og støjberegningerne, til UTM zone 32/ETRS89, som er den nutidige standard for rumlige data. Punkt-temaet er konverteret til et cellebaseret tema med samme opløsning, hvorfra konturlinjer for støjgrænserne på 39 og 44 dB er genereret.

Adresser tildeles i Danmark i overensstemmelse med reglerne i BBR-loven [11] og i adressebekendtgørelsen [12]. Det fremgår heraf, at samtlige boligenheder har en adresse, men også at ubebyggede arealer, bygninger med erhvervsanvendelse som eks. lager, kontor og pumpestation kan have en adresse. Placeringen af boliger er derfor bestemt som samtlige adresser i det aktuelle område fra det officielle danske adresseregister [13], for hvilke der i BBR-registret [14] er registreret en bygning med boligareal som hovedanvendelse. Med den valgte opgørelsesmetode er sommerhuse således medregnet som boliger.

Det bemærkes, at Frøstruplejren kun har én adresse og en enkelt registreret bygning med boligareal som hovedanvendelse. Den anvendte opgørelsesmetode betyder derfor, at lejren kun optræder som en enkelt bolig i tabeller og på kort, uanset at der er mange beboelsesbygninger i lejren.

Såvel støjkonturer som placering af boliger er vist på topografiske kort [15]. For områder med lokalplan eller byplanvedtægt er vist luftfotos [16] med angivelse af området og dets anvendelse [17]. Støjkonturerne er desuden konverteret til polygoner, hvorefter boligerne indenfor hver af støjgrænserne er fundet ved en simpel overlay-analyse.

Der findes ikke umiddelbart tilgængelige databaser med information om antallet af beboere på adresseniveau, men i et nystartet informationsprojekt [18] er der udviklet en metode til geografisk lokalisering af befolkningsdata summeret i kvadrat-net ved anvendelse af adressekoordinater. Befolkningsdata baseret på folkeregisteradresser er anskaffet fra Danmarks Statistik i kvadratiske celler med en kantlængde på 250 m. I tilfælde, hvor der kun er én bolig indenfor et kvadrat, er befolkningstallet tillagt denne bolig. I tilfælde, hvor der er flere boliger indenfor et kvadrat, er det gennemsnitlige antal personer pr. bolig beregnet, og dette antal er efterfølgende tilskrevet hver af boligerne. Ud fra disse tal er estimeret antal af beboere indenfor støjgrænserne.

3 RESULTATER

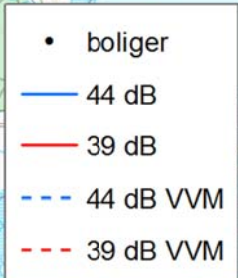
3.1 Støjkonturer

Støjkonturer for henholdsvis 12 og 20 MW møller er vist sammen med boligerne på kortene i Figur 2 og Figur 3 (bringes på de følgende sider, så kortene står lige overfor hinanden ved dobbeltsidet tryk).

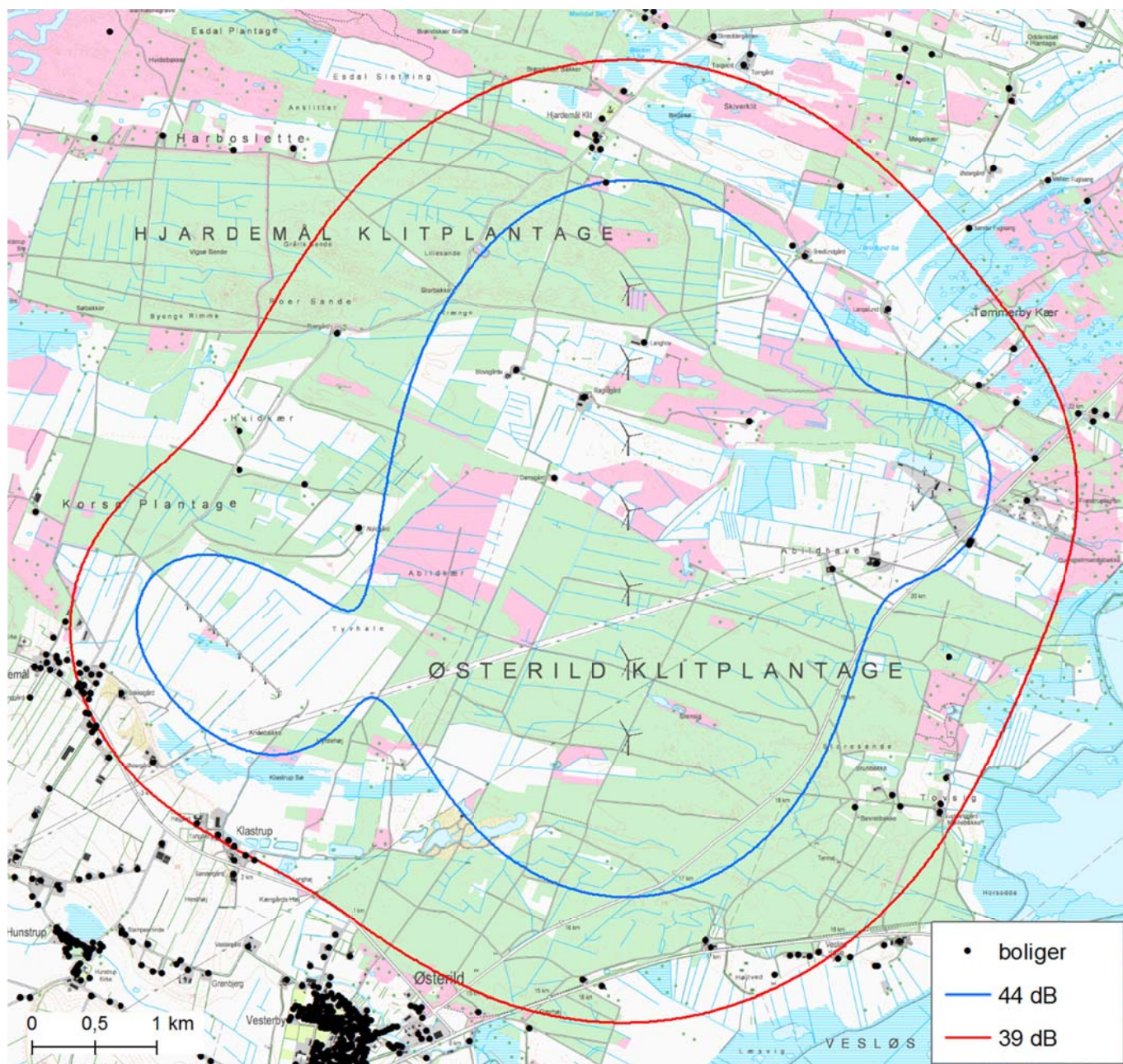
Arealet indenfor støjkonturerne for de to møllestørrelser er beregnet og vist i Tabel 2.

Tabel 2. Arealer indenfor støjkonturerne.

Lydtryk	12 MW møller	20 MW møller
Større end 44 dB	14,8 km ²	21,6 km ²
Større end 39 dB	32,8 km ²	44,1 km ²



Figur 2. Støjkonturer for lydtryk på 44 dB (blå) og 39 dB (rød) ved en vindhastighed på 8 m/s og testmøller på 12 MW. (Stiplede linjer angiver beregninger som i VVM-redegørelsen, hvor der ikke er taget hensyn til spektrrets ændring med møllestørrelse). Figuren omfatter et område på 9 km i øst-vestlig retning og 8,5 km i nord-sydlig retning, og hvis rapporten er trykt i original størrelse, er målestoksforholdet 1:50.000.



Figur 3. Støjkonturer for lydtryk på 44 dB (blå) og 39 dB (rød) ved en vindhastighed på 8 m/s og testmøller på 20 MW. Figuren omfatter et område på 9 km i øst-vestlig retning og 8,5 km i nord-sydlig retning, og hvis rapporten er trykt i original størrelse, er målestoksforholdet 1:50.000.

3.2 Antal boliger og beboere indenfor konturerne

Tabel 3 viser antallet af boliger og det estimerede antal beboere indenfor støjkonturerne.

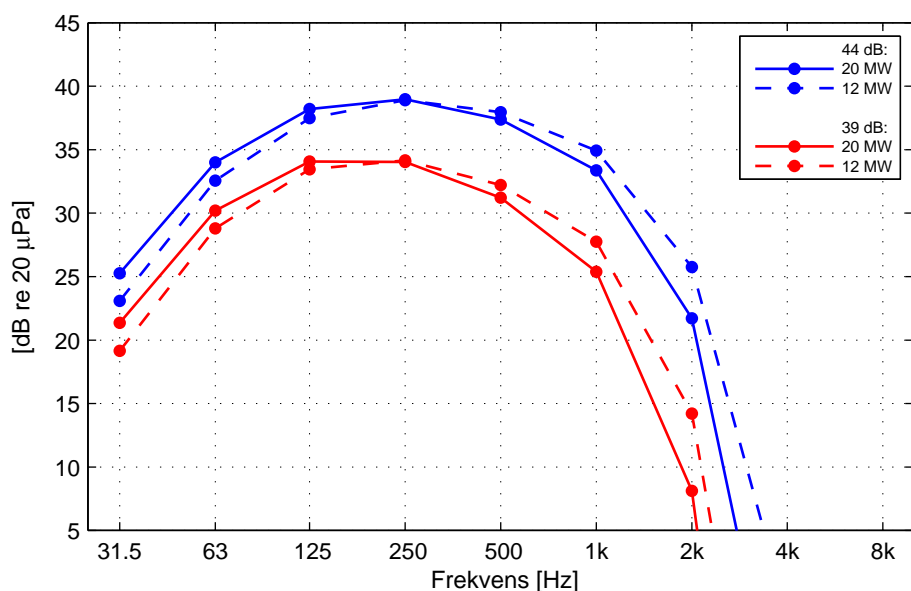
Tabel 3. Antal boliger og estimeret antal beboere indenfor de beregnede støjkonturer og VVM-redegørelsens støjkonturer. Antal beboere er ikke angivet, hvor det er mindre end 10.

	Lydtrykniveau	VVM	12 MW møller	20 MW møller
Antal boliger	over 44 dB	5	5	8
	39-44 dB	19 ¹	25 ¹	58 ¹
Antal beboere	over 44 dB	-	-	11
	39-44 dB	119	126	171

¹ På grund af opgørelsesprincippet er Frøstruplejren kun medregnet som 1.

3.3 Støjens spektrum i omgivelserne

Som eksempler på støjspektre i omgivelserne viser Figur 4 spektrene for punkter stik syd for testmøllerne på 44 og 39 dB konturerne. Afstanden til nærmeste mølle fra disse punkter er vist i Tabel 4.



Figur 4. Støjspektrum i punkter på 44 og 39 dB konturerne stik syd for testmøllerne.

Tabel 4. Afstand til nærmeste mølle fra punkter på 44 og 39 dB konturerne stik syd for testmøllerne.

	12 MW møller	20 MW møller
44 dB kontur	946 meter	1292 meter
39 dB kontur	1714 meter	2303 meter

Når møllerne står på en linje, skal afstanden principielt være større på ”langsiderne” end i ”enderne”, før støjen er faldet til et givet niveau, men da støjen på begge langsider i det aktuelle projekt (mod øst og vest) er påvirket lokalt af støjen fra de eksisterende møller, er det valgt ikke at beregne afstand og spektre der.

4 DISKUSSIONER

4.1 Overholdelse af støjgrænserne

Det meste af området er landzone uden lokalplaner, og mange boliger ligger enkeltvist, spredt i området. For disse er støjgrænsen 44 dB.

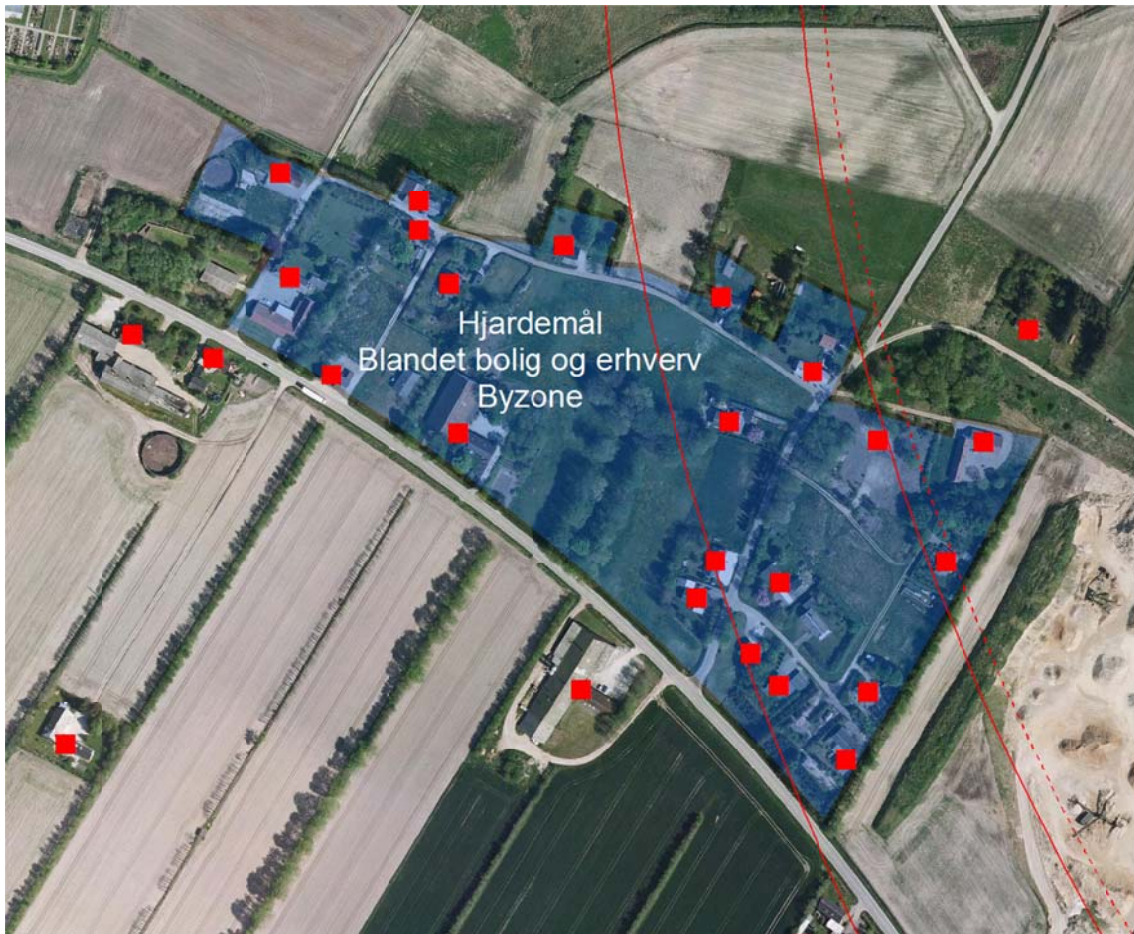
I tilfældet med 12 MW møller (Figur 2) er der fem boliger, som ligger indenfor 44 dB konturen, og ifølge VVM-redegørelsen er det planen, at disse skal eksproprieres. Med 20 MW møller (Figur 3) kommer der yderligere tre boliger til, hvor 44 dB kravet ikke kan overholdes. Det drejer sig om to boliger ved Abildhave og en bolig mod nord op mod Hjørdemål Klit.

Mellem 44 dB og 39 dB konturerne må der ligge boliger i det ”åbne land”, men der må ikke være områder, som er udlagt som støjfølsomt område eller anvendes som støjfølsomt område [4].

Indenfor 39 dB zonen findes der en byplanvedtægt for Hjørdemål By og lokalplaner for Hjørdemål Klit og Frøstruplejren (også kaldet Thylejren). Kun lokalplanen for Hjørdemål Klit er nævnt i VVM-redegørelsen.

Byplanvedtægten for Hjørdemål By [19] henfører området til byzone med blandet bolig og erhverv samt et grønt område. Erhvervet er pålagt restriktioner vedrørende gener fra f.eks. støj, og for beboelsen er givet parcelhuslignende vilkår med hensyn til grundarealer, byggehøjde, bebyggelsesgrad osv. Området anvendes desuden rent faktisk til boligformål. Området er således støjfølsomt område.

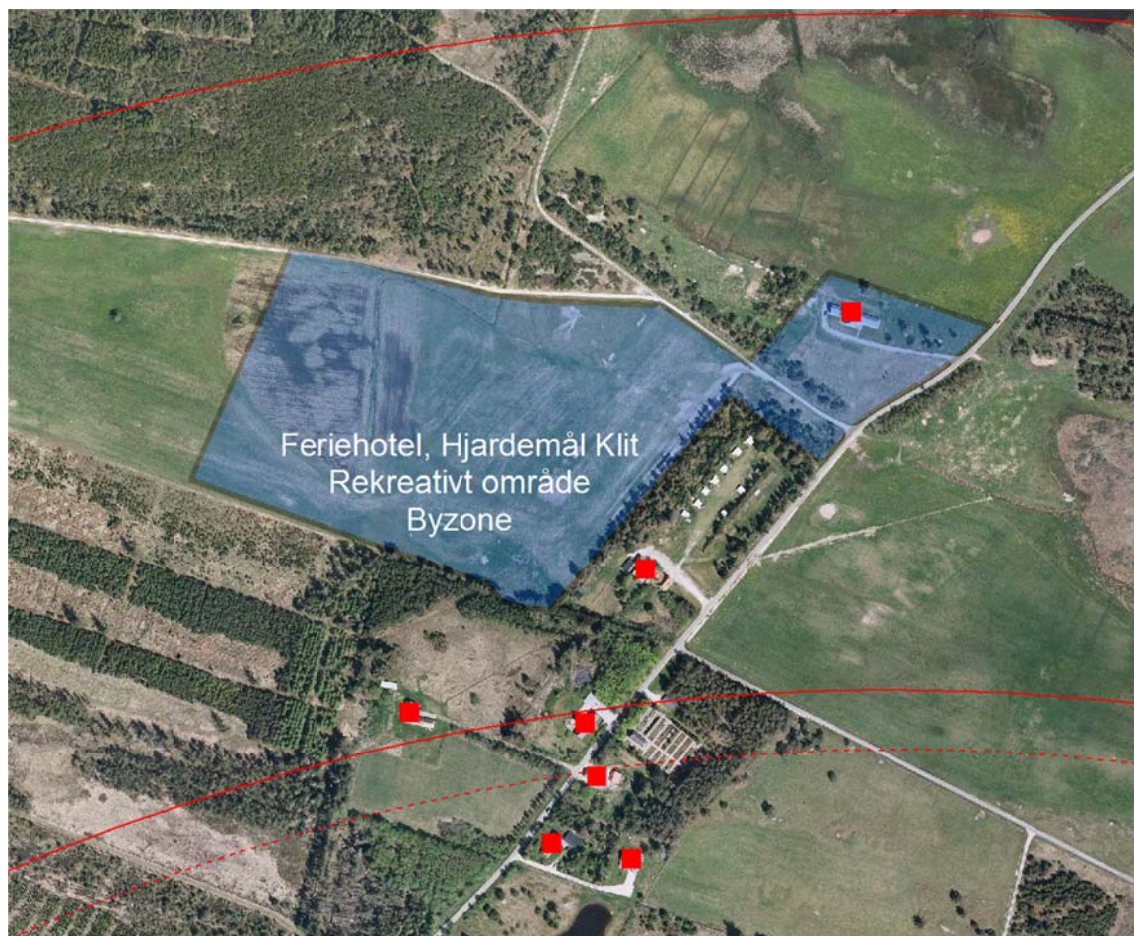
Figur 5 viser luftfoto af Hjørdemål By med angivelse af byplanvedtægtens område, boliger og støjkonturer. Indenfor byplanvedtægtens område vil to boliger blive udsat for mere end 39 dB støj med 12 MW møller (én bolig med VVM-redegørelsens kontur), medens 12 boliger vil ligge over grænsen med 20 MW møller.



Figur 5. Luftfoto af Hjørdemål By med angivelse af byplanvedtægtens område, boliger (røde firkanter) og støjkonturer for henholdsvis 12 og 20 MW møller (fuldt optrukne røde linjer) og fra VVM-redegørelsen (stiplet rød linje).

Lokalplanen for Hjørdemål Klit [20] henfører dette område til byzone med anvendelse til hoteldrift og rekreative formål. Det er således også 39 dB grænsen, som gælder her.

Figur 6 viser luftfoto af Hjørdemål Klit med angivelse af lokalplanens område, boliger og støjkonturer. Grænsen er overskredet i hele lokalplanens område med 20 MW møller men ikke med 12 MW møller.



Figur 6. Luftfoto af Hjørdemål Klit med angivelse af lokalplanens område, boliger (røde firkanter) og støjkonturer for henholdsvis 12 og 20 MW møller (fuldt optrukne røde linjer) og fra VVM-redegørelsen (stiplet rød linje).

Ifølge lokalplanen for Frøstruplejren [21] er området landzone og omfatter blandt andet op til 60 beboelsesbygninger, og der er således tale om et beboelsesområde. Lejren er i øvrigt udlagt som helårslejrplads, altså et rekreativt område, som også er støjfølsomt område.

Lejren ligger sydøst for Gl. Aalborgvej (rute 569, den gamle landevej mellem Thisted og Aalborg) ud for 21 km stenen. På Figur 2 og Figur 3 er lejren markeret få millimeter fra vejen ude til højre og midt for i nord-sydlig retning, ud for hvor navnet ”Frøstruplejren” netop kan skelnes. Selvom navnet står udenfor 39 dB konturerne, er boligmarkeringen tydeligt indenfor på begge figurer.

I BBR-registret [14] er der kun registreret én bygning med boligareal i Frøstruplejren, men der findes en lang række beboelsesbygninger, som ikke findes i registret og antagelig heller ikke skal være der jævnfør den særlige status, området har i henhold til lov [22] og lokalplan [21]. Der er 80 personer med folkeregisteradresse i lejren.

Luftfoto af lejren er vist i Figur 7, hvor det ses, at mange af bygningerne og de tilhørende opholdsarealer ligger indenfor 39 dB grænsen med 12 MW møller,

medens næsten hele arealet ligger indenfor grænsen med 20 MW møller. Støjkravene kan således ikke opfyldes for Frøstruplejrens vedkommende, hverken med 12 eller 20 MW møller.



Figur 7. Luftfoto af Frøstruplejren med angivelse af lokalplanens område, den enkelte BBR-registrerede bolig (rød firkant) og støjkonturer for henholdsvis 12 og 20 MW møller (fuldt optrukne linjer) og fra VVM-redegørelsen (stiplet rød linje).

Ud over områder, der er udlagt som støjfølsomt område, kan der være områder, hvor den faktiske anvendelse gør, at området skal opfattes som støjfølsomt. Vejledningen om opstilling af vindmøller [5] henleder opmærksomheden på, at Miljøstyrelsen i forhold til en tilsvarende problemstilling om anden ekstern støj [23] har afgjort, at seks boliger, der lå ved siden af hinanden på en vej som parcelhuse, måtte betragtes som et område til åben og lav boligbebyggelse og dermed støjfølsom anvendelse, uanset at området lå i landzone, og der ikke forelå en lokalplan.

De seks huse i den nævnte sag [24] lå indenfor en afstand af ca. 150 meter. For et tilgrænsende område med to boliger på den anden side af en større vej, begge indenfor cirka 80 meter fra den nærmeste af de seks boliger, blev det bestemt, at den lave støjgrænse også skulle gælde, hvorimod den højere grænse for landzoner skulle gælde for en bolig beliggende isoleret godt 100 meter længere nede ad samme vej

som de seks boliger. Forfatterne er ikke bekendt med andre afgørelser, der eksempelvis kunne fastslå, om færre end seks boliger kan udgøre et faktisk boligområde.

I Klastrup, i Vesløs Huse og i Hjørdemål Klit (uden for lokalplanen) findes grupper af boliger, som kan hævdes at udgøre faktiske boligområder, men hvor der er færre huse eller længere mellem husene end i den tidligere afgørelse [24]. Det må derfor bero på en konkret administrativ eller retslig behandling, om boliggrupperne skal opfattes som faktiske boligområder. Der er mere end 39 dB støj for nogle af boligerne alle tre steder med 20 MW møller, og i Hjørdemål Klit med 12 MW møller.

4.2 Støjen ved naboerne

Hvis man sammenligner faconen på spektrene i Figur 1 og Figur 4, ses, at der er langt mindre højfrekvent indhold i lydtrykkene ude ved støjkonturerne, end i kildespektrene. Det skyldes, at luftabsorptionen dæmper de høje frekvenser men stort set ikke de lave (næstsidste led i ligning 2).

Resultatet er, at lyden har en mere lavfrekvent karakter et stykke væk fra møllen end tæt på møllen. Når der er tale om så store møller som de aktuelle, skal støjen vandre langt for at nå ned på støjgrænserne, og den mister derved det meste af sit højfrekvente indhold, inden den når frem til støjgrænserne. Den kendte swish-swish lyd, som forbindes med vingernes rotation, er væk, og lyden vil i højere grad blive opfattet som en lavfrekvent rumlen.

Når det samlede lydtryk er det samme, som det er på støjgrænserne, er spektrets forskydning mod lavere frekvenser mere udtalt, jo længere støjen skal vandre. Det vil sige, at forskydningen er mere udtalt for 20 end 12 MW møller (sammenlign fuldt optrukne med stiplede linjer i Figur 4) og mere udtalt på 39 end 44 dB konturen (sammenlign røde med blå linjer i Figur 4).

Udover en ændret subjektiv opfattelse betyder et større indhold af lave frekvenser i støjen, at den nemmere trænger ind i boligerne.

Det bemærkes, at afstanden til nærmeste mølle er helt oppe på lidt under eller lidt over 2 kilometer for henholdsvis 12 og 20 MW møller (Tabel 4), før støjen er dæmpet til 39 dB.

Selvom 39 dB er grænseværdien, er støj med denne styrke tydeligt hørbart, og man må forvente, at møllerne vil kunne høres adskillige kilometer væk.

4.3 Usikkerhed

Da der endnu ikke findes møller på størrelse med de planlagte, er beregningerne behæftet med en betydelig usikkerhed. Ved at tage udgangspunkt i regressionen af kildestyrker versus møllestyrke estimeres den mest sandsynlige kildestyrke for de fremtidige møller. Der er ikke tillagt en sikkerhedsmargin, sådan som IEC TS 61400-14 [25] foreskriver, og som Danmarks Vindmølleforening anbefaler [26]. Uden sikkerhedsmargin er der principielt 50 % sandsynlighed for, at lydtrykket

bliver højere end det beregnede (og naturligvis tilsvarende 50 % chance for, at det bliver lavere).

For prototypemøller skal der ifølge bekendtgørelsen [4] ”foreligge sådanne målinger og beregninger... ..., at det kan sandsynliggøres, at møllen vil kunne overholde støjgrænserne”. Med en sandsynlighed på 50 % for overskridelser er dette naturligvis ikke opfyldt med de beregnede konturer. Hvis der lægges en sikkerhedsmargin til møllernes kildestyrke, vil støjkonturerne rykke endnu længere væk fra møllerne.

Der er også forhold, som gør, at beregningen af lydtryk i omgivelserne måske giver for lave værdier. Ved hjælp af langtidsmålinger 530 meter fra en 100 meter høj mølle viste Forssén et al. for nylig [27], at beregningen i de svenske regler for vindmøllestøj [28] forudsiger det gennemsnitlige niveau (men ikke det øjeblikkelige) tilfredsstillende. Imidlertid benytter de svenske regler et tillæg på 3 dB for jordrefleksionen i modsætning til de danske, som kun benytter 1,5 dB (sidste led i ligning 2). Forudsigelserne efter de danske regler giver altså 1,5 dB lavere lydtryk, end dem, Forssén et al. sammenlignede med.

Et andet forhold, som kan medføre, at de beregnede lydtryk er for lave, er, at beregningen tager udgangspunkt i sfærisk lydudbredelse. Ved udbredelse over lange afstande kan atmosfæriske forhold gøre, at udbredelsen, ikke mindst ved lave frekvenser, bliver cylindrisk, hvorved lydtrykket ikke falder med 6 dB for en fordobling af afstanden, men kun med 3 dB [29, 30, 31]. Over vand regner de svenske retningslinjer generelt med cylindrisk udbredelse ud over en afstand på 200 m [28], men der savnes viden om forekomsten og betydningen af sådanne forhold over land.

Som nævnt i afsnit 2.1 er der regnet med, at den nordligste mølle er lavere end de øvrige møller, sådan at man kan undgå at skulle ekspropriere en bolig nord for møllerne på grund af afstandskravet på mindst fire gange møllehøjden. Selv med en udokumenteret og måske diskutabel reduktion i støjen fra denne mølle på 8,5 dB bringer beregningen for 20 MW møller lydtrykket ved denne bolig op over 44 dB, hvorfor den alligevel må eksproprieres, hvilket giver mulighed for at hæve højderestriktionen for den nordlige mølle. Hvis man gør det, skal man være opmærksom på, at støjgrænserne vil udvides i det nordlige område, og flere boliger vil muligvis komme indenfor 44 dB grænsen.

På grundlag af den manglende sikkerhedsmargin, usikkerheden om den nordligste mølle og muligheden for, at udbredelsesmodellen giver for lave værdier for lydtrykket, må det konstateres, at beregningerne på ingen måde beskriver et worst-case scenarium, snarere det modsatte.

5 KONKLUSIONER

Støjgrænsen på 44 dB for det åbne land vil blive overskredet for fem boliger, forudsat en møllestørrelse på 12 MW som i VVM-redegørelsen. Det er planen, at disse boliger eksproprieres. Med en møllestørrelse på 20 MW, som der nu planlægges for, vil grænsen for det åbne land blive overskredet ved yderligere tre boliger, som ikke er planlagt eksproprieret.

Støjniveauet vil ligge over grænsen på 39 dB for boligområder og anden støjfølsom anvendelse i et område på 33-44 kvadratkilometer afhængigt af møllestørrelsen. Inden for dette område er tre områder udlagt til støjfølsom anvendelse. Med 12 MW møller bliver grænsen overskredet for omkring halvdelen af boligerne i Frøstruplejren og 2 boliger i Hjardemål By. Dette er ikke nævnt i VVM-redegørelsen, og der er ikke planlagt ekspropriationer. Der bor i alt 80 personer i Frøstruplejren. Med 20 MW møller overskrides grænsen for alle boliger i Frøstruplejren, 12 boliger i Hjardemål By plus hele hotel- og campingområdet i Hjardemål Klit..

Bekendtgørelsen om støj fra vindmøller kan således ikke opfyldes uden yderligere ekspropriationer, selv ikke med den oprindelige møllestørrelse på 12 MW.

I afstande, hvor støjgrænserne er overholdt, vil støjens højfrekvente indhold være dæmpet af luftens absorption. Den kendte swish-swish lyd, som forbindes med vingernes rotation, er væk, og lyden vil i højere grad blive opfattet som en lavfrekvent rumlen. Det må forventes, at møllerne kan høres adskillige kilometer væk.

Referencer

- [1] "VVM-redegørelse: Nationalt testcenter – for vindmøller ved Østerild," Miljøministeriet, december 2009.
- [2] "A test centre for wind turbines at Østerild in north-western Jutland will ensure Denmark's leading position within wind energy," Nyhedsbrev, Risø DTU, 17. August 2010.
- [3] Henrik Møller og Christian Sejer Pedersen, "Lavfrekvent støj fra store vindmøller", Aalborg Universitet, ISBN 978-87-92328-30-4, 2010.
- [4] "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller", Bekendtgørelse nr. 1518, Miljøministeriet, 14. december 2006.
- [5] "Vejledning om planlægning for og landzonetilladelse til opstilling af vindmøller", Vejledning nr. 9296, Miljøministeriet, 22. maj 2009.
- [6] Bo Søndergaard, Kaj Dam Madsen, "Low frequency noise from large wind turbines – Results from sound power measurements", Report AV 136/08, Delta, revised version December 2008.
- [7] Fritz van den Berg, Eja Pedersen, Jelte Bouma, Roel Bakker, "WINDFARMperception – Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents", Final report 3. June 2008, University of Groningen, University of Gothenburg.
- [8] MATLAB, Release 2010b, The Mathwork Inc., 2010.
- [9] Microsoft Office Professionel 2007, version 12.0.6535.5005, Microsoft Corporation, 2007.
- [10] ArcGIS 10.0 build 2414, Copyright 1999-2010 ESRI Inc.
- [11] "Bekendtgørelse af lov om bygnings- og boligregistrering", Lovbekendtgørelse nr. 160, Økonomi- og Erhvervsministeriet, den 8. februar 2010.
- [12] "Bekendtgørelse om vejnavne og adresser", Bekendtgørelse nr. 1398, Økonomi- og Erhvervsministeriet, den 12. december 2006.
- [13] <http://www.adresse-info.dk>.
- [14] <http://www.bbr.dk>.
- [15] DTK/Kort25, <http://www.kms.dk/Landkortogtopografi/TopografiskeDatabaser/Kort25/>. Copyright, Kort & Matrikelstyrelsen, licens G 24-98.
- [16] Ophavsrettigheder: COWI.
- [17] <http://www.plansystemdk.dk/>.
- [18] 'Hvilken rolle spiller de små landsbyer i den danske landdistriktsudvikling?', Jørgen Møller og Jan Kloster Staunstrup, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet. Informationsprojekt støttet af landdistriktspuljen under Indenrigs- og Sundhedsministeriet.
- [19] "Byplanvedtægt for Hjørdemål by", Partiel Byplanvedtægt nr. 4, Hjørdemål Kommune, den 5. maj 1967.
- [20] "Hjørdemål Klit", Lokalplan 6.1, Hjørdemål Kommune, 13. marts 1980.
- [21] "Frøstruplejren", Lokalplan nr. 4.11, Kommuneplantillæg nr. 11 (Hjørdemål Kommune) og Regionplantillæg nr. 11 (Viborg Amt), Miljø- og Energiministeriet 1996.

- [22] "Bekendtgørelse af lov om anvendelse af Frøstruplejren", Lovbekendtgørelse nr. 791, Miljøministeriet, den 21. juni 2007.
- [23] "Ekstern støj fra virksomheder", Vejledning nr. 5/1984, Miljøstyrelsen, 1984.
- [24] "Miljøstyrelsen stadfæster med ændringer miljøgodkendelsen til BonBon-Land", J.nr. M 133/J06-0002, Miljøstyrelsen, 17. august 2004.
- [25] IEC TS 61400-14, "Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values", International Technical Commission, Geneva, 2005.
- [26] "Støj fra vindmøller", Fakta om vindenergi, Faktablad P7, Danmarks Vindmølleforening, juni 2008 (<http://www.dkvind.dk/fakta/pdf/P7.pdf>, hentet 21. oktober 2010).
- [27] J. J. Forssén, M. Schiff, E. Pedersen, K. P. Waye, "Wind turbine noise propagation over flat ground: Measurements and predictions", *Acta Acustica united with Acustica*, **96**, 753-760, 2010.
- [28] "Ljud från vindkraftverk" (Sound from wind turbines), Rapport 6241, Naturvårdsverket, Stockholm, 2001.
- [29] H. H. Hubbard, K. P. Shepherd, "Aeroacoustics of large wind turbines", *J. Acoust. Soc. Am.*, **89** (6), 2495-2508, 1991.
- [30] W. E. Zorumski, W. L. Willshire Jr., "Downwind sound propagation in an atmospheric boundary layer", *AIAA Journal*, **5** (5), 515-523, 1989.
- [31] L. Johansson, "Sound propagation around off-shore wind turbines", *Proc. 10th International Congress on Sound and Vibration*, Stockholm, 2003, 1481-1487.